植物提取物抑菌活性及作用机理

刘旺景　敖长金*　萨茹丽　陈圣阳　丁　赫

（内蒙古农业大学动物科学学院，呼和浩特 010018）

摘　要：天然植物中含有多种抑菌活性成分，可大致归纳为如下几大类，即生物碱类、挥发油类、黄酮类、有机酸类、多糖类、单宁类和植物色素等。本文借鉴国内外学者近年来的研究成果，对植物提取物抑菌活性成分及抑菌机理方面的研究进行了概括和总结，展望了植物源性添加剂在动物饲养方面的开发及应用前景，以期为抑菌性植物源饲料添加剂的开发及应用提供参考依据。

关键词：植物提取物；抑菌活性成分；作用机理

中图分类号：S816.7　　　　文献标识码：　　　　文章编号：

植物提取物顾名思义是指存在于植物体中人们通过物理或者化学的方法提取出具有生物活性的物质，其有效成分如生物碱、挥发油、黄酮、多糖、有机酸、单宁、油脂和大蒜素等均具有不同程度的抗菌作用，作为饲料添加剂，其耐药性极小，不易出现残留和毒副作用，具有极高的安全可靠性。因此以植物为原料进行饲料添加剂的研制与开发已经成为各国研发的热点。我国的植物资源非常丰富，尤其是有些植物已被证明具有良好的药用价值，所以，研究开发植物提取物为饲料添加剂对我国畜牧业的健康发展和畜产品品质的改善和提高具有重要的意义。

1　生物碱类及其抑菌机理

生物碱是天然植物中一类重要的含氮有机化合物，呈碱性，可与酸结合成盐，游离态的生物碱溶于乙醇等有机溶剂，不溶或难溶于水。绝大多数生物碱分布在高等植物，尤其是双子叶植物中，如毛茛科、罂粟科等。生物碱结构复杂、种类繁多，按植物来源分为罂粟科生物碱、毛茛科生物碱、百合科生物碱和茄科生物碱等；按其结构分为吡啶衍生物类、吡咯啶

收稿日期：2016-01-26

基金项目：国家自然科学基金（31260558）；国家科技支撑计划课题（2013BAD10B04）

作者简介：刘旺景（1991-），男，山西孝义人，硕士研究生，研究方向为动物营养与饲料科学。E-mail： 1051327358@qq.com

*通信作者：敖长金，教授，博士生导师，E-mail： changjinao@sohu.com

衍生物类、莨菪烷衍生物类、异喹啉衍生物类和其他等[1]。国内外学者已经证明，天然植物中的生物碱具有抑菌的生物学活性。

Móricz 等[2]用甲醇和乙酸乙酯从白屈菜的根、茎和叶提取出的活性成分为生物碱。通过薄层层析法以及生物自显影法（TLC-DB）检测其对枯草芽孢杆菌和大肠杆菌的抑菌活性，发现其提取物对上述 2 种菌都有抑制作用。孙一丹等[3]研究表明，带内生真菌和不带内生真菌的醉马草生物碱提取液对离蠕孢等 8 种植物病原真菌的菌落生长和孢子萌发均有抑制作用。杨佳冰等[4]发现紫花地丁中的总生物碱对大肠杆菌的抑制属于中度敏感，而对革兰氏阳性菌的代表金黄色葡萄球菌则表现不明显。杨梅等[5]从杜仲叶中提取总生物碱以及对提取到的杜仲总生物碱进行柱层析分离得到的 4 种纯化物。测试它们对金黄色葡萄球菌、大肠杆菌、枯草芽孢杆菌、黑曲霉和青霉 5 种供试菌的抑制作用，发现抑菌效果各异，最小抑制浓度也不同。刘靖等[6]报道博落回生物碱能够促进某些有益菌的增殖，抑制有害菌的生长，促进黄鸡小肠绒毛结构的发育，改善小肠的吸收功能，从而提高黄鸡的生长效率。曹国文等[7]研究杜仲生物碱对断奶仔猪肠道菌群的影响，发现试验组中猪肠道中乳酸菌和双歧杆菌的数量明显多于对照组，同时肠道中的大肠杆菌、肠球菌指数和腹泻率明显降低。

对于生物碱抑菌机理的探究还处于初级阶段，有待进一步的验证。任伟等[8]分别通过检测真菌细胞的电导率、还原糖含量、琥珀酸脱氢酶活性和可溶性蛋白含量 4 个试验指标，对小檗碱、石蒜碱抑菌机理进行了推测。在真菌细胞电导率的影响和还原糖的摄取方面，小檗碱可能是阻断了钠离子的内流从而阻止了葡萄糖的吸收。试验后期葡萄糖回升，推测其原因是破坏了小麦赤霉菌菌丝体细胞膜的结构，内容物释放，影响其正常的新陈代谢，最终导致细胞死亡。琥珀酸脱氢酶活性的强弱直接影响着体内重要的生化反应三羧酸循环（TCA），石蒜碱抑制琥珀酸脱氢酶的活性，使小麦赤霉菌菌丝体的能量代谢受到影响，从而抑制菌体发育。对于菌体可溶性蛋白的影响两者差别很大，但都在菌体出现负增长之前，出现可溶性蛋白的增多，说明了 2 种生物碱对菌体细胞膜产生了不同程度的破坏。

2 挥发油类及其抑菌机理

挥发油又称为精油，是广泛存在于天然植物中，可通过水蒸气蒸馏的方法得到的易挥发的油状液体，具有芳香气味，不溶于水，易溶于乙醇等有机溶剂。植物精油成分复杂，按化学结构分为芳香族、脂肪族和萜类，其中以萜类成分为主，主要包括单帖、倍半萜以及醇类、

酚类、醚类、醛、酮、羧酸和酯等含氧衍生物。在我国野生栽培的，尤其在菊科、芸香科、樟科和禾本科等多种植物中均含有精油。有研究表明挥发油作为饲料添加剂，可改善饲料品质，促进动物生长，提高生产性能。敖长金[9]研究发现，沙葱挥发油中肉桂酸乙酯的含量较高，其本身就是一种香料，也可在一定程度上改善饲料风味。

近年来对于植物挥发油抑菌活性的研究正在不断开展。王昊等[10]从降香中分离得到的化合物，并对其进行了抑菌活性的测试，结果显示化合物 3 分子式为 $C_{15}H_{26}O_2$，该化合物以及它的非对映异构体，化合物 4 对白色念球菌均有一定的抑制作用，而化合物 4 对葡萄球菌也有抑制作用。据推测其活性基团为吡喃环，一般认为缺少吡喃环的萜类没有活性。韩晓敏等[11]用水蒸气提取法提取真菌诱导沉香、国产野生沉香和健康白木香 3 种植物中的挥发油，用气相色谱-质谱联用技术对上述 3 种挥发油的化学成分进行了检验，发现前 2 种植物中挥发油的成分主要为倍半萜和芳香族化合物，而白木香中含有的则是脂肪族化合物。进行抗真菌活性研究后发现真菌诱导沉香、国产野生沉香对可可毛色二孢菌、尖孢镰刀菌和白色念珠菌 3 种试验菌株均有良好的抑制效果，但白木香的抑菌活性很弱。国外很早就有植物精油抑菌的研究，Fisher 等[12]从香柠檬、柠檬和甜橙中提取得到芳樟醇和柠檬醛，通过油状和蒸汽 2 种形式进行抑菌活性的探究，发现这 2 种形式的活性物质对金黄色葡萄球菌、空肠弯曲菌、0157 大肠杆菌、单增李斯特菌和蜡状芽孢杆菌都有一定的抑制作用。Vivke 等[13]研究发现，从一种叫水翁的植物中提取的植物精油能抑制植物病原性菌株（黄单孢病菌）。

植物精油因其具有广谱抗菌的优点，已经引起广泛的关注。国内外对不同植物挥发油的抑菌活性做了大量的研究，挥发油的抑菌机理也正处于积极的探索当中。吕飞等[14]认为植物精油化学成分复杂，在这些成分中，除了小分子酚类、萜烯类和醛酮类具有较强的抑菌活性外，其他含氧衍生物如醇类、醚类同样具有一定的抑菌活性。初步推测植物精油的抑菌特性是各组成成分抑菌效果的综合体现。研究发现，经精油处理过的菌种，无法达到正常的生长高峰，菌种对数期的分裂受到抑制，最终活菌数下降；在电镜下观察菌体的结构时发生了不同程度的变形和扭曲；细胞溶出物的数量随着精油浓度的增加而增加，说明菌体细胞膜受到了不同程度的破坏；随着处理时间的延长，供试菌精油处理液的电导率也发生很大的变化，细菌胞内离子等小分子物质外流；当外流程度不断加重时，菌体自身的新陈代谢发生紊乱，

导致死亡；同时菌体细胞脂肪酸含量也出现规律性变化，进一步说明植物精油对菌体细胞膜具有很强的破坏作用。

3 黄酮类及其抑菌机理

黄酮类化合物是一类存在于自然界的，具有 2-苯基色原酮结构的化合物。它们的分子中有 1 个酮式羰基，第 1 位上的氧原子具有碱性，能与强酸成盐，其羟基衍生物具有黄色，故又称黄碱素或黄酮。黄酮类化合物的分类[15]主要有二氢黄酮醇类与二氢黄酮、二氢异黄酮与异黄酮、黄酮类黄酮醇类、花色素类和黄烷醇类等。黄酮类化合物具有诸多生物学活性，Demirtas 等[16]研究发现，由葱属植物水溶性部分分离的黄酮类化合物具有抗氧化性；杨楠等[17]研究总结出黄酮类化合物具有抗肺癌、乳腺癌和结肠癌等功效；Raza 等[18]报道黄酮类化合物对鸡新城疫病毒有抑制作用；邵明显[19]发现葫芦巴种子中的总黄酮能抑制大肠杆菌和金黄色葡萄球菌等致病细菌。其中黄酮类化合物的抑菌生物学活性一直是学者们研究的热点。

Desta 等[20]研究发现，酸模属植物的花中富含黄酮类化合物，具有抑菌的生物学活性。潘翠翠等[21]研究表明，甘草总黄酮对供试菌的抑菌能力大小依次为燕麦镰刀菌>尖孢镰刀菌>半裸镰刀菌>禾谷镰刀菌，抑菌圈直径分别为 18.840、15.670、7.600 和 8.470 mm。张相飞等[22]从陈皮石油醚相中分离得到 3 种多甲氧基黄酮类化合物，采用生长速率法进行抑菌活性的测定，发现三者均对苹果腐烂病菌有抑制作用。吕雅等[23]采取滤纸扩散法测定苦瓜黄酮的抑菌活性，发现其对大肠杆菌、绿脓杆菌、志贺氏菌、沙门氏菌、金黄色葡萄球菌和枯草芽孢杆菌都有一定的抑制作用，其中对枯草芽孢杆菌的抑菌作用最佳，对前 3 种菌最低抑菌浓度（MIC）值均为 0.250 mg/mL，对后 3 种菌 MIC 值均为 0.125 mg/mL。武书庚等[24]研究表明，在仔猪饲粮中添加藤茶黄酮能明显改善仔猪生产性能及饲料转化率，且不会增加仔猪腹泻率。梁英等[25]报道黄芩黄酮可显著降低肉仔鸡肠道中大肠杆菌和沙门氏菌的数量，同时饲粮中添加 10.000 mg/kg 的黄芩黄酮能提高 49 日龄肉仔鸡平均体重与日增重，降低料重比，提高生产性能。卢军等[26]采用 4 种不同的浸提法从金莲花中提取活性物质进行抑菌试验，发现采用超声波辅助提取的醇提物抑菌活性最强，并用高效液相色谱分析后发现，其成分主要是黄酮类化合物（金丝桃甙、牡荆黄素、荭草素、2’-O-β-*L*-半乳糖苷）。

黄酮类化合物具有直接抗菌活性。曾春辉等[27]认为黄酮类化合物的抑菌机制是，抑制细胞内脱氢酶的活性从而抑制细菌细胞的新陈代谢。王晓英等[28]用蒲公英总黄酮提取物处理假单孢细菌时，该菌的细胞膜的完整性遭到破坏，细胞内容物（蛋白质、多糖）渗出，细胞新陈代谢发生紊乱，最终导致菌体死亡。贺翠等[29]研究发现，雪菊黄酮能抑制表皮葡萄球菌细胞膜的生成，最终达到抑菌效果，且最佳抑菌浓度为 500.000~50.000 μg/mL。

4 有机酸类及其抑菌机理

有机酸是存在于植物根、茎、果实中的一类具有羧基的有机化合物，但不包括氨基酸。植物中常见的有机酸分为脂肪族和芳香族2大类，如草酸、苹果酸属于脂肪族；苯甲酸、水杨酸属于芳香族。有机酸在植物果实中的含量最为丰富，且大多数以盐的形式存在，其余则以游离状态存在。有机酸的生理作用非常广泛，本身的酸性可降低肠道pH，有利于肠道有益微生物生长及营养物质的消化吸收，其抑菌活性逐渐引起学者们的重视。

张泽生等[30]发现金银花中的绿原酸对食品中常见致病菌具有一定的抑菌活性。周莲等[31]也发现金银花中的绿原酸对不同的供试菌的抑制作用有差别，其抑菌顺序依次为：大肠杆菌>黑曲霉>金黄色葡萄球>酿酒酵母菌>枯草芽孢杆菌。邵静等[32]首次运用AKTA二维液相色谱分离纯化技术从果梅果实浸提液中分离纯化得到乙酸、柠檬酸、马来酸、草酸、酒石酸、琥珀酸、苹果酸、抗坏血酸和富马酸9种有机酸，研究表明这些酸对细菌、真菌都有一定的抑制作用。有机酸的种类不同抑菌能力也有所不同，由此可推断抑菌活性与植物中有机酸的种类和含量有关。董鲜等[33]用尖孢镰刀菌感染香蕉植株一段时间后，检测植株根和叶片中有机酚酸种类和含量的变化后发现叶片中检测到的5种有机羧酸（草酸、琥珀酸、延胡索酸、苹果酸、柠檬酸）随着感染时间的延长，其含量都出现了不同程度的增加，而在根中的含量则减少。对于在叶片和根中检测到的3种酚酸（阿魏酸，肉桂酸、水杨酸）都有不同程度地增加。王学玲等[34]报道仔猪饲粮中添加柠檬酸可使胃、直肠和结肠中的大肠杆菌数量分别减少38.1%、62.5%和66.7%，而添加1%的混合酸（0.5%柠檬酸和0.5%乳酸）可降低仔猪腹泻的发病率，使日增重明显增加。

张军等[35]对有机酸抑菌机理进行了总结：1）有机酸可通过自由扩散进入菌体细胞，在细胞内解离，氢离子集聚，导致细胞内原本稳定的内环境发生变化，从而使细胞的新陈代谢发生紊乱，细菌正常生长受阻。2）有机酸能与菌体膜成分发生互作，破坏其膜的完整，内

容物外泄，从而抑菌。3）随着有机酸自由进入胞内，胞内渗透压不断增加，细胞自身做出调节，释放细菌生长必需的辅助因子，从而达到动态平衡，这个方面对细菌生长影响显著。4）有机酸能阻断生物大分子物质的合成过程。Rasch等[36]发现有机酸抑制DNA合成所需关键酶，核糖核酸还原酶的活性，细菌DNA合成受阻。Pieterse等[37]认为乳酸在植物乳杆菌大量积聚时，由于反馈机制抑制了能量转化，产生的能量远远满足不了细菌的生长繁殖。5）Zarzosa等[38]研究发现丁酸钠能显著提高牛乳房上皮细胞支气管抗菌肽及β防御素基因的表达量，同时使金黄色葡萄球菌进入乳房上皮细胞的量减少到原来的50%。

5　多糖类及其抑菌机理

多糖是指植物细胞代谢产生，由许多相同或不同的单糖以糖苷键所组成的聚合度大于10的化合物，它普遍存在于天然植物中。植物中的多糖主要有淀粉、菊糖、纤维素、多聚糖、果胶等。有些多糖作为植物的营养能量来源，比如淀粉，大部分存在于植物的果实和种子中。有些虽然没有明显的生理活性，但是对植物来说却是必不可少的，比如树胶，它是天然植物受到外界伤害或毒菌侵袭后分泌的一种保护性黏稠液体。赵飞艳等[39]发现沙葱多糖高浓度剂量组能提高绵羊外周淋巴细胞钙离子（Ca^{2+}）的浓度，改变环磷酸腺苷（cAMP）和环磷酸鸟苷（cGMP）的水平，具有增强免疫的活性。岳磊等[40]研究总结香菇多糖具有抗肿瘤及免疫调节活性。石玉涛等[41]报道迎霜茶多糖和云南大叶种茶多糖对四氧嘧啶致糖尿病小鼠具有降低血糖的功效。Li等[42]报道金丝草多糖具有抗氧化性。刘丽霞等[43]研究发现黄芪多糖能促进白细胞介素（IL）的生成，具有抗炎活性。

多糖除了具有上述生物学活性，还具有抑菌活性。Stach等[44]报道食药用菌多糖具有抑菌的效果。李云等[45]将纯化后的红菇多糖经阴离子层析柱分离后，得到3个多糖组分，其中组分1对细菌有明显的抑制作用，但对霉菌及酵母无抑制作用。黄琼等[46]提取金针菇多糖对其抑菌效果进行抑菌试验后发现其对供试的8种细菌和真菌均有抑制效果。最大的抑菌圈（青霉菌）达到了43.100 mm，最小的抑菌圈（枯草芽孢杆菌）也达到了13.400 mm。唐明等[47]研究百合多糖的抑菌活性，发现其对真菌（啤酒酵母）和霉菌（黑曲霉、中华根霉）有一定的抑制作用，而对于有些细菌则无抑制作用。果胶是由半乳糖醛酸通过α-1，4糖苷键连接聚合而成的高分子化合物，主要存在于植物细胞壁中，高分子果胶一般无明显的抑菌活性，但一旦降解成小分子物质就可能具有抑菌活性。Michinori等[48]研究白芨乙醇提取物对枯草芽

孢杆菌、金黄色葡萄球菌有明显的抑制作用，推测可能是白芨多糖具有抑菌活性。贺阳洋等[49]利用果胶内切酶对果胶进行降解，对降解后的产物进行薄层层析得到PF1（果胶低聚糖和半乳糖醛酸）和PF2（果胶低聚糖和多聚半乳糖醛酸）2种混合物，分别进行抑菌试验后发现PF1和PF2对供试的5种细菌（八叠球菌、大肠杆菌、金黄色葡萄球菌、枯草芽孢杆菌、沙门氏菌）都有良好的抑制作用。史彬林等[50]发现在肉仔鸡饲粮中添加壳聚糖时，引起盲肠内容物中乳酸杆菌的数量呈上升趋势，而大肠杆菌的数量则呈不同程度的下降趋势，尤其当壳聚糖的添加量为0.05%时，效果最明显。

对于多糖抑菌机理前人也进行了深入探究。代建丽等[51]通过研究大肠杆菌细胞膜通透性、大肠杆菌细胞壁通透性、以及大肠杆菌培养液中蛋白质的浓度3方面来研究白芨多糖的抑菌机理。对于细胞膜通透性的研究，电导率和蛋白质是2个重要指标，试验发现随着处理时间的延长，大肠杆菌培养液的电导率也在一定范围内增加，蛋白质也呈现出上升趋势，说明大肠杆菌细胞膜通透性的增加，离子及大分子等物质外泄。对于细胞壁通透性的研究，检测通常以碱性磷酸酶作为指标，该酶存在于细胞壁与细胞膜间，正常情况下其培养液中检测不到该酶。在研究中发现，大肠杆菌细胞培养液中出现了先增加后减小的趋势，说明细菌的细胞壁遭到了破坏，并导致细菌死亡。以上几方面内容与Vinsova等[52]和Eaton等[53]的研究结果一致。

6　单宁（tannins）类物质及其抑菌机理

单宁又称为鞣质，是分子量较高的多元酚类化合物，普遍存在于天然植物的茎、液和果实中，尤其在油菜籽及鞣科植物中含量较多。1796年Seguin首次将植物水提物中可使生皮转变为革的多酚类化合物合称为“植物单宁”。通常将单宁分为水解单宁、缩合单宁以及复合单宁。高粱籽粒中的单宁属于缩合单宁，它与籽粒自身的蛋白质结合形成坚硬的外膜，保护籽粒免受外界的侵袭，具有抗鸟害、抗病虫害、抗气候变化的作用。另外，在高粱收获前单宁还干扰籽实中酶的活动，从而抑制收获前的发芽，增加种子的耐储性。

不仅如此，有学者研究发现单宁还具有抑菌的生物学活性。范小曼等[54]制备5种不同分离级的白花败酱单宁进行抑菌研究中发现，样品1（用超声波提取法得到的白花败酱单宁粗提物)和样品3（经Sephadex LH-20纯化后甲醇洗脱组分)对枯草芽孢杆菌、志贺氏痢疾杆菌、大肠杆菌、金黄色葡萄球菌和鼠伤寒沙门氏菌5种细菌抑制作用较强，但对供试的霉菌（黑

曲霉、黄曲霉）以及啤酒酵母无明显的抑制作用。Ewa等[55]研究发现漆树单宁对绿脓杆菌、蜡样芽孢杆菌抑制作用明显。杨林等[56]从石榴皮中提取鞣质进行抑菌活性研究后发现石榴皮鞣质对大肠杆菌、金黄色葡萄球菌、沙门氏菌和福氏痢疾杆菌都有较强的抑制作用，而且与石榴皮黄酮相比，石榴皮鞣质的抑菌作用更强。Ali等[57]从火炬姜（*Etlingera elatior*）的花中提取出单宁成分，发现其对金黄色葡萄球菌、枯草芽孢杆菌和大肠杆菌等细菌都有抑制作用。江凯等[58]用牛津杯法测试五倍子单宁对不同供试菌的最小抑菌浓度，其值基本在2.500~5.000 g/L之内。Ali等[59]研究发现一定浓度的缩合单宁能抑制瘤胃中许多种细菌的生长，抑制有感染力的幼虫发育，并降低幼虫的活力，增强动物机体免疫力。Doriave等[60]评估了7种喀麦隆人日常食用植物提取物的抗菌活性，相同之处是所有植物提取物均含有酚类及三萜类化合物，不同之处是提取物来源不同抑菌活性也完全不同，其中提取物A. *Polyanthum*对产气肠杆菌抑制作用最强，最小抑菌浓度为32.000 μg/mL。

对于植物中缩合单宁的抑菌机理学者们也进行了初步的研究与探讨。刘秀丽等[61]选取紫色达利菊和红豆草 2 种含缩合单宁植物以及非致病性大肠杆菌 ATCC25922，从以下 6 个方面研究缩合单宁的抑菌机理。1）菌体外膜的变化，试验采用 NPN 荧光猝熄法，发现 2 种单宁对试验菌外膜菌均出现较高的荧光响应值，以此说明处理后的细菌外膜通透性发生了变化，在荧光显微镜下观察，随着单宁浓度的增加，原来均匀分布的大肠杆菌慢慢凝聚起来。2）菌体内膜的变化 β-*D*-半乳糖苷酶是一个重要的监测指标，结果表明内膜通透性也增加。3）影响模型蛋白质的沉降，选取牛血清白蛋白（BSA）和 Rubisco 蛋白质作为模型，采用考马斯亮蓝 G-250 方法研究蛋白质沉降，发现紫色达利菊单宁蛋白质沉降作用更为明显。4）对大肠杆菌细胞脂质体的影响，试验利用亲脂性荧光探针 NPN 对蛋黄卵磷脂荧光发射的变化来判断，发现其对脂质体有凝聚作用。5）单宁氧化产物过氧化氢对影响细菌生长。6）影响细菌细胞壁脂肪酸的组成。综合以上 6 个方面可知，植物单宁影响细菌细胞膜通透性，细胞膜组分发生变化，从而影响细菌正常生长代谢。

7　其他类物质及其抑菌机理

香豆素又称香豆精、氧杂萘邻酮，草木樨植株中的香豆素含量非常丰富，且以花中最多，叶和种子次之，茎秆较少。从建民等[62]从草木樨提取香豆素进行抑菌效果研究后发现香豆

素稀释液对土壤细菌明显的抑制作用，低浓度香豆素液抑菌效果强于高浓度香豆素。石辛等[63]研究发现 3 种新合成的香豆素对 3 种金黄色葡萄球菌都有明显的抑制作用。

大蒜素为有机含硫化合物，多存在于百合科植物大蒜中，其物理性状为淡黄色粉末或淡黄色油状液体，有较浓的气味。潘洪涛等[64]发现大蒜素能有效抑制空肠杆菌弯曲，抑制作用强于环丙沙星和红霉素。李焕友等[65]报道猪采食大蒜素后，肠道内有害菌减少，腹泻率降低，猪的健康水平有所提高。

木脂素因存在于植物木质部和树脂间而得名，由 2 分子苯丙素衍生物聚合而成的天然化合物，属于一种植物雌激素。王晓闻等[66]从绞股蓝中分离出 3 种木脂素类化合物，研究其对大肠杆菌、金黄色葡萄球菌、沙门氏菌和变异链球菌的抑制作用，发现 3 种木脂素化合物都有一定的抑菌活性。

油脂为高级脂肪酸的甘油酯组成的混合物，而油在常温下为液态油脂。法希秦等[67]利用索氏浸提法提取薏米中的油脂，采用滤纸片法进行抑菌试验。供试菌为青霉、黑曲霉、志贺氏菌、肉毒梭菌、大肠杆菌和金黄色葡萄球菌等 13 种病原菌。发现薏米油除了对阪崎肠杆菌和黑曲霉抑制效果不明显以外，对其他病原菌均有不同程度的抑制作用。

8 小 结

抗生素以及化学防腐剂给我们生活带来益处的同时，也存在着对动物的毒性作用、细菌的耐药性、在动物性产品中残留以及对环境污染等诸多问题。天然植物提取物不但在功效上能与之媲美，而且具有化学添加剂无可比拟的天然性、安全性、无污染以及独特的营养特性，因此从天然植物中提取活性成分用于抑菌防腐已经成为各国研究热点。我国有着非常丰富的植物资源，这就为天然抑菌防腐添加剂的研究奠定了基础。国内外对植物抑菌活性的研究已取得了一定的成果，部分植物抑菌活性成分的研究取得了突破性进展，有望投入生产并取代部分抗生素。但是伴随其产生的问题也接踵而至，诸如；1）对于植物提取物的研究多数还停留在粗提物的阶段，并不能确定抑菌活性物质的化学结构及性质；2）多数植物提取物含有色素（叶绿素、花色素、黄酮类色素、蒽醌类色素等）或者不良挥发性气体（如大蒜素），使用剂量小抑菌效果可能不明显，大剂量的使用时影响食品的感官品质，如色泽、气味等；再者植物提取物成分复杂，因种植的地域、时间以及季节的不同活性成分有很大的差别，生产的植物源性添加剂很难保证每一批次都有同样的功效；3）对于植物提取物活性成分抑菌

机理的研究仍处在初级阶段，大多是以菌体细胞壁组分变化、菌体形态变化等为切入点研究其对细菌、真菌以及霉菌的抑制作用，而深层次的抑菌机理有待进一步探究；4）有人认为天然植物提取物就一定是安全性极高的物质，事实上所谓的安全性只是相对而言，对于人畜接触到的外源性物质还需要进行毒理学评价研究，严格按照卫生部制定的“食品安全性毒理学评价程序”来进行检测，否则不能允许其作为添加剂使用。只有把这些问题都考虑到了，找到妥善的解决方法，结合坚实的科研理论，优化的生产工艺，不久的将来具有抑菌作用的植物源性添加剂的开发及其应用前景将会愈发光明。

参考文献:

[1] 张德华,李茹,王永梅,等.生物碱的分类和鉴定方法研究进展[J].皖西学院学报,2010,26(5):69–73.

[2] MÓRICZ Á M,FORNAL E,JESIONEK W,et al.Effect-directed isolation and identification of antibacterial *Chelidonium majus* L.alkaloids[J].Chromatographia,2015,78(9/10):707–716.

[3] 孙一丹,张兴旭,古丽君,等.醉马草-内生真菌共生体中生物碱的抑菌活性[J].草业科学,2015,32(4):508–514.

[4] 杨佳冰,丁大旺,赵金香,等.紫花地丁总生物碱抗病毒与抑菌试验[J].中兽医医药杂志,2011(4):8–10.

[5] 杨梅.杜仲叶生物碱提取分离与活性研究[D].硕士学位论文.洛阳:河南科技大学,2014:32–41.

[6] 刘靖.博落回生物碱对黄羽肉仔鸡生长的影响[D].硕士学位论文.长沙:湖南农业大学,2010:21–30.

[7] 曹国文,曾代勤,戴荣国,等.中草药添加剂对生长猪肠道菌群与生产性能的影响[J].四川畜牧兽医,2003,30(10):19–20.

[8] 任伟.石蒜碱和小檗碱对植物病原真菌抑制作用及其抑菌生理指标分析[D].硕士学位论文.郑州:河南农业大学,2014:28–34.

[9] 敖长金.沙葱化学成分及其生物学功能研究进展[J].饲料工业,2010,31(18):1–5.

[10] 王昊.降香化学成分及生物活性研究[D].硕士学位论文.青岛:青岛科技大学,2014:9–40.

[11] 韩晓敏.珍稀濒危南药沉香主要成分检测方法研究[D].硕士学位论文.秦皇岛:燕山大学,2014:35–40.

[12] FISHER K,PHILLIPS C.The effect of lemon,orange and bergamot essential oils and their components on the survival of *Campylobacter jejuni*,*Escherichia coli* 0157,*Listeria monocytogenes*,Bacillus cereus and *Staphylococcus aureus in vitro* and in food systems[J].Journal of Applied Microbiology,2006,101(6):1232–1240.

[13] BAJPAI V K,DUNG N T,SUH H J,et al.Antibacterial activity of essential oil and extracts of *Cleistocalyx operculatus* buds against the bacteria of *Xanthomonas* spp[J].Journal of the American

Oil Chemists' Society,2010,87(11):1341–1349.

[14] 吕飞.天然植物精油的抑菌活性及其作用机理研究[D].硕士学位论文.北京:北京化工大学,2011:39–49.

[15] 萨茹丽.沙葱黄酮提取工艺优化、结构鉴定及其相关生物活性研究[D].博士学位论文.呼和浩特:内蒙古农业大学,2014:4–5.

[16] DEMIRTAS I,ERENLER R,ELMASTAS M,et al.Studies on the Antioxidant potential of flavones of *Allium Vineale* isolated from its water-soluble fraction[J].Food Chemistry,2013,136(1):34–40.

[17] 杨楠,贾晓斌,张振海,等.黄酮类化合物抗肿瘤活性及机制研究进展[J].中国中药杂,2015,40(3):373–381.

[18] RAZA A,MUHAMMAD F,BASHIR S,et al.Antiviral and immune boosting activities of different medicinal plants against Newcastle disease virus in poultry[J].World's Poultry Science Journal,2015,71(3):523–532.

[19] 邵明显.胡芦巴种子总黄酮的提取分离、抑菌及抗氧化活性的研究[D].硕士学位论文.乌鲁木齐:新疆农业大学,2012:19–41.

[20] DESTA K T,KIM G S,HONG G E,et al.Dietary-flavonoid-rich flowers of *Rumex nervosus* Vahl:liquid chromatography with electrospray ionization tandem mass spectrometry profiling and *in vitro* anti-inflammatory effects[J].Journal of Separation Science,2015,38(19):3345–3353.

[21] 潘翠翠.甘草抑菌活性物质分析及通过组织培养提高其含量研究[D].硕士学位论文.大庆:黑龙江八一农垦大学,2014:9–21.

[22] 张相飞,杜春华,郝双红,等.陈皮石油醚相中抗苹果腐烂病菌活性物质研究[J].湖北农业科学,2015,54(13):3150–3156.

[23] 吕雅.苦瓜中黄酮和多糖的提取及生物活性研究[D].硕士学位论文.广州:广东工业大学,2014:55–62.

[24] 武书庚,刁其玉,石波,等.藤茶黄酮对仔猪生产性能的影响[J].饲料工业,2005,26(7):29–31.

[25] 梁英,任成财,钱丽丽,等.黄芩黄酮对肉仔鸡生长性能和肠道菌群的影响[J].中兽医医药

杂志,2012(4):39–42.

[26] LU J,QIN P Z,HAN X,et al.Evaluation of antioxidant and antibacterial properties of extracts from *Trollius chinensis Bunge*[J].European Food Research Technology,2015,240(2):301–310.

[27] 曾春晖,杨柯,徐明光,等.广西藤茶总黄酮对金黄色葡萄球菌抗菌机制研究[J].中国实验方剂学杂志,2013,19(10):249–252.

[28] 王晓英.蒲公英总黄酮对假单胞菌抑菌机理的探讨[J].食品研究与开发,2012,33(11):18–21.

[29] 贺翠.雪菊黄酮类化合物的提取、分离鉴定及其活性研究[D].硕士学位论文.阿拉尔:塔里木大学,2014.

[30] 张泽生,乌兰.金银花中绿原酸的体外抑菌和抗氧化性的研究[J].天津科技大学学报,2005,20(2):5–8,34.

[31] 周莲.金银花叶中绿原酸的提取、纯化及抑菌性质的研究[D].硕士学位论文.重庆:重庆工商大学,2014:32–40.

[32] 邵静.果梅抑菌、抗癌活性及其有效成分的研究[D].硕士学位论文.南京:南京农业大学,2013:15–24.

[33] 董鲜,郑青松,王敏,等.香蕉幼苗三类有机小分子溶质对尖孢镰刀菌侵染的生理响应[J].生态学报,2015,35(10):3309–3319.

[34] 王学玲,周广森.仔猪补喂柠檬酸和乳酸的效果分析[J].中国饲料,1995(2):24–25.

[35] 张军,田子罡,王建华,等.有机酸抑菌分子机理研究进展[J].畜牧兽医学报,2011,42(3):323–328.

[36] RASCH M.The influence of temperature,salt and PH on the inhibitory effect of reuterin on *Escherichia coli*[J].International Journal of Food Microbiology,2002,72(3):225–231.

[37] PIETERSE B,LEER R J,SCHUREN F H J,et al.Unravelling the multiple effects of lactic acid stress on *Lactobacillus plantarum* by transcription profiling[J].Microbiology,2005,151(12):3881–3894.

[38] OCHOA-ZARZOSA A,VILLARREAL-FERNÁNDEZ E,CANO-CAMACHO H,et

al.Sodium butyrate inhibits *Staphylococcus aureus* internalization in bovine mammary epithelial cells and induces the expression of antimicrobial peptide genes[J].Microbial Pathogenesis,2009,47(1):1–7.

[39] 赵飞艳,敖长金,萨茹丽,等.沙葱多糖对绵羊外周血淋巴细胞信号转导相关分子的影响[J].细胞与分子学免疫学杂志,2013,29(11):1125–1128.

[40] WANG K P,WANG J,LI Q,et al.Structural differences and conformational characterization of five bioactive polysaccharides from *Lentinus edodes*[J].Food Research International,2014,62:223–232.

[41] 石玉涛,余志,陈玉琼,等.2 种茶叶多糖降血糖效果的比较[J].华中农业大学学报,2015,34(2):113–119.

[42] LI F L,CHEN H Q,CHEN L S.The Study of antioxidation and reducing ability of polysaccharides from *Pogonatherum crinitum*[J].Journal of Organic Chemistry Research,2015,3(1):16–24.

[43] 刘丽霞,牛梦莉,王静,等.多糖的抗炎机制研究进展[J].内蒙古医科大学学报,2015,37(S1):218–220.

[44] STACHOWIAK B,REGUŁA J.Health-promoting potential of edible macromycetes under special consideration of polysaccharides:a review[J].European Food Research and Technology,2012,234(3):369–380.

[45] 李云,黄荣城,许俊凰.红菇子实体多糖抑菌活性研究[J].福建林业科技,2015,42(2):98–102.

[46] 黄琼,马仲文,赖腾强.金针菇多糖抑菌作用的研究[J].食品研究与开发,2015,36(1):10–12.

[47] 唐明.百合多糖的提取、纯化及抑菌活性研究[D].硕士学位论文.长沙:湖南农业大学,2010:36–40.

[48] MICHINORI K,NORIKO S,MIHO Y,et al.Application studies of *Bletillae Rhizoma* (Rhizomes of *Bletilla striata*) on atopic dermatitis[J].Nature Medicines,2003,57(2):55–60.

[49] 贺阳洋.果胶低聚寡糖的酶法制备及其抑菌活性研究[D].硕士学位论文.湛江:广东海洋大学,2009:21–30.

[50] 史彬林,朴香淑,王旭,等.壳聚糖对肉仔鸡肠道菌群的影响[J].中国饲料,2005(6):5–6,9.

[51] 代建丽,周斯狄,刘铭轩,等.白芨多糖的抑菌作用研究[J].安徽农学通报,2015,21(19):19–21.

[52] VINSOVA J,VAVRIKOVA E.Chitosan derivatives with Antimicrobial,antitumour and antioxidant activities-a review[J].Current Pharmaceutical Design,2011,17(32):3596–3607.

[53] EATON P,FERNANDES J C,PEREIRA E,et al.Atomic force microscopy study of the antibacterial effects of chitosans on *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus*[J].Ultramicroscopy,2008,108(10):1128–1134.

[54] 范小曼.白花败酱单宁的提取、分离及活性研究[D].硕士学位论文.杭州:浙江大学,2014:44–48.

[55] OLCHOWIK-GRABAREK E,SWIECICKA I,ANDREEVA-KOVALESKAYA Z,et al.Role of Structural Changes Induced in Biological Membranes by Hydrolysable Tannins from Sumac Leaves (*Rhus typhina* L.) in their Antihemolytic and Antibacterial Effects[J].The Journal of Membrane Biology,2014,247(6):533–540.

[56] 杨林,周本宏.石榴皮中鞣质和黄酮类化合物抑菌作用的实验研究[J].时珍国医国药,2015,18(10):2335–2336.

[57] GHASEMZADEH A,JAAFAR H Z E,RAHMAT A,et al.Secondary metabolites constituents and antioxidant,anticancer and antibacterial activities of *Etlingera elatior* (Jack) R.M.Sm grown in different locations of Malaysia[J].BMC Complementary and Alternative Medicine,2015,15(1):335.

[58] 江凯.五倍子单宁的提取纯化及其抗菌、抗突变作用研究[D].硕士学位论文.西安:陕西师范大学,2011:31–35.

[59] MIN B R,ATTWOOD G T,MCNABB W C,et al.The effect of condensed tannins from *Lotus Corniculatus* on proteolytic activities and growth of rumen bacteria[J].Animal Feed Science and Technology,2005,121(1/2):45–58.

[60] DJEUSSI D E,NOUMEDEM J A,SEUKEP J A,et al.Antibacterial activities of selected edible plants extracts against multidrug-resistant Gram-negative bacteria[J].BMC Complementary

and Alternative Medicine,2013,13(1):164.

[61] 刘秀丽.植物缩合单宁对大肠杆菌的抑制作用及抑菌机理的研究[D].博士学位论文.呼和浩特:内蒙古农业大学,2013:39–53.

[62] 从建民,陈凤清,野俊双,等.草木犀香豆素的提取工艺及抑菌活性研究[J].天然产物研究与开发,2014(4):588–593,596.

[63] SHI X,LV C W,LI J,et al.Synthesis,photoluminescent,antibacterial activities and theoretical studies of three novel coumarin and dihydropyran derivatives containing a triphenylamine group[J].Research on Chemical Intermediates,2015,41(11):8965–8974.

[64] 潘洪涛,杨宗兴,赵文萃,等.大蒜素对空肠弯曲杆菌抑菌作用的研究[J].药学实践杂志,2015,33(2):147–149,170.

[65] 李焕友,甄辑铭,阳萍,等.微生态制剂在小猪饲料中应用的研究[J].粮食与饲料工业,2000(12):36–38.

[66] 王晓闻,章华平,陈峰,等.绞股蓝中木脂素体外抗氧化及抑菌活性研究[J].食品科学,2010,31(13):154–157.

[67] 法希芹,郑明强,彭波,等.薏米油抑菌效果的研究[J].食品工业科技,2010,31(6):134–135,138.

Antibacterial Activity of Plant Extracts and Mechanism of Action

LIU Wangjing[1] AO Changjin* Saruli CHEN Shengyang DING He

(*College of animal science, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot* 010018, *China*)

Abstract: Natural plants contain a variety of ingredients which have antibacterial activities, and the ingredients can be approximately categorized into the followings: alkaloids, volatile oil, flavones, organic acids, polysaccharides, tannins, plant pigments and so on. This article summarized the antibacterial active ingredients and their mechanisms as well as the prospective development and application as additives in animal feeding, referring to the domestic and abroad scholars' research achievements, in order to provide the reference for further research and application of those plant

*Corresponding author, professor, E-mail: changjinao@sohu.com （责任编辑 武海龙）

extracts as additives.

Key words: plant extracts; antibacterial active ingredients; mechanism of action